

## К ОЦЕНКЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОЧВ

**Ю.В. Чигарев**, докт. физ.-мат. наук, профессор (БГАТУ; Западнопоморский технологический университет, г. Щецин, Республика Польша); **И.С. Крук**, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ); **А.С. Воробей**, научн. сотр. (РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»); **Ф.И. Назаров**, инженер (БГАТУ)

### Аннотация

*В статье рассмотрен один из вариантов сохранения почвой требуемой структуры и плотности после воздействия сельскохозяйственного деформатора – деформирование пор, наполненных воздухом или водой, и способных к большому сопротивлению сжатию. В результате анализа воздействия внешних нагрузок на толстостенную пору, содержащую воздух или воду, получены зависимости для определения величины предельного радиального напряжения и критической нагрузки, при которых еще сохраняется поровое пространство.*

*One of the options required for soil structure and its density after the agricultural deformer treatment – pore deformation, filled with air or water, and capable to a great compression resistance – is described in the article. The analysis of external loads onto the thick-walled pore containing air or water resulted in the dependences for determining the value of maximum permissible radial stress and critical load at which the pore space is still reserved.*

### Введение

Переуплотнение почв сельскохозяйственными деформаторами (СД) связано с переупаковкой твердых частиц, что ведет к уменьшению порового пространства. Несмотря на большое количество научных работ по снижению уплотняющего воздействия СД на почву, в данной проблеме остается много нерешенных вопросов. Среди них вопрос о повышении несущей способности почвы. Много факторов, влияющих на несущую способность почвы, связано с ее структурой. Структура почвы является сильно неоднородной. Обычно почву рассматривают как трехфазную среду. Твердую и жидкую фазы почвы считают несжимаемыми. Поэтому деформирование почвы связано с газовой фазой, точнее говоря, с пористым строением.

Речь идет о порах, наполненных воздухом или водой, и способных к большому сопротивлению сжатию. При некоторых значениях внешних нагрузок на поверхность почвы, поры деформируются упругим образом и полностью восстанавливают свою форму после прохождения СД, обеспечивая почве сохранность структуры и начальную плотность. Однако существует такое внешнее нагружение от СД, которое ведет к замыканию пор, а, следовательно, к увеличению плотности почвы. В данной работе рассматриваются процессы деформирования пор.

### Основная часть

#### Методика решения задачи

Рассмотрим толстостенную полую сферу, внутри которой находится воздух или вода. Пусть толщина стенки сферы будет равна  $h$ . Стенка (поверхность)

сферы будет представлять собой также пористый материал, состоящий из твердых частиц почвы и воздуха (жидкости). Пористость поверхностного слоя до деформирования определится [1] из соотношения

$$\varepsilon_0 = \frac{r_{н0}^3}{r_{в0}^3 - r_{н0}^3}, \quad (1)$$

где  $r_{в0}$  – внутренний радиус сферы до деформации;

$r_{н0}$  – наружный радиус сферы до деформации.

При проезде СД по полю на пору будет действовать напряжение, которое по мере приближения СД будет возрастать. В этом случае толщина стенки поры изменяется, а ее пористость выражается формулой

$$\varepsilon = \frac{r_n^3}{r_v^3 - r_n^3}, \quad (2)$$

где  $r_v$  – внутренний радиус стенки сферы после деформирования;

$r_n$  – наружный радиус стенки сферы после деформирования.

Будем считать, что на поверхность почвы действует сосредоточенная сила  $P$ . Тогда, согласно формуле Буссинеска, на наружную поверхность стенки поры будет действовать радиальное напряжение (рис.1) [2]

$$\sigma_r = \frac{3P \cos \alpha}{2\pi R^2}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – угол, составляемый радиусом-вектором  $R$  с вертикалью.

В силу малости сферы можно считать, что на ее наружной поверхности будет действовать равномер-

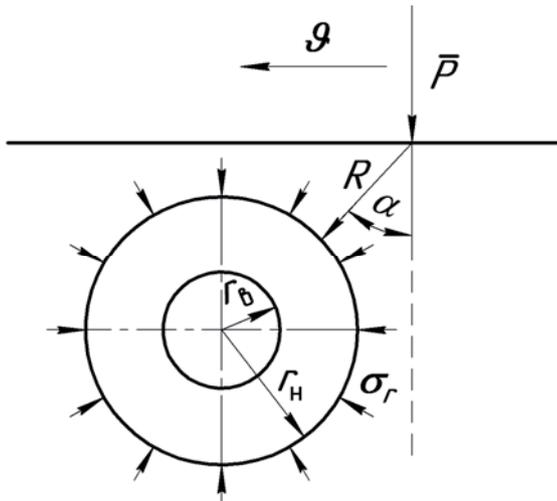


Рис. 1 Схема действия нагрузки на пору

но распределенная нагрузка (гидростатическое давление) (рис. 1), определяемая формулой (3).

В цилиндрической системе координат связь между напряжениями и деформациями, в случае упругого деформирования стенок сферы, определяется [1] следующими выражениями:

$$\sigma_{rr} = \sigma(r) = \frac{4G}{3r^3} \left( r_{в0}^3 \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon}{\varepsilon_0 - 1} \right); \quad (4)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\varphi\varphi} = \sigma(r) - \frac{2G}{3r^3} \left( r_{в0}^3 \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon}{\varepsilon_0 - 1} \right), \quad (5)$$

где  $r^3 = r_0^3 - r_{в0}^3 \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon}{\varepsilon_0 - 1}$  – радиус, определяющий

положение точки сферы после деформации;

$r_0$  – радиус, определяющий положение точки сферы до деформации;

$\sigma(r)$  – гидростатическое давление;

$G$  – модуль упругости.

Уравнение равновесия

$$\sigma_{rr,r} + \frac{2(\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta})}{r} = 0. \quad (6)$$

Условия на границе стенок сферической поры будут при

$$\left. \begin{aligned} r = r_{в}; & \Rightarrow \sigma_{rr} = 0 \\ r = r_{н} & \Rightarrow \sigma_{rr} = -\frac{3P \cos \alpha}{2\pi R^2} \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Считая  $\alpha$  и  $R$  постоянными величинами, из выражений (4), (5) и (6) получим

$$\sigma_R = \frac{4G(\varepsilon_0 - \varepsilon)}{3\varepsilon(\varepsilon_0 - 1)}. \quad (8)$$

Из выражения (8) определим пористость

$$\varepsilon = \frac{4G\varepsilon_0}{3\sigma_R(\varepsilon_0 - 1) + 4G}. \quad (9)$$

В случае упругого деформирования оболочки поры, связь между напряжением и деформацией можно представить в виде [1, 2]:

$$\sigma_R = eG, \quad (10)$$

где  $e$  – относительная упругая деформация.

Уравнение (9) с учетом (10) перепишем в виде:

$$\varepsilon = \frac{4\varepsilon_0}{3e(\varepsilon_0 - 1) + 4}. \quad (11)$$

Так как пористость должна быть величиной больше нуля, то, следовательно, будет выполнено условие:

$$\varepsilon_0 \leq \frac{4}{3e} + 1. \quad (12)$$

В случае малых относительных деформаций  $e < 1$ , пористость будет выше, чем при больших относительных деформациях  $e > 1$ .

При увеличении относительной деформации  $e \Rightarrow \infty$ , можно считать:  $\varepsilon_0 \approx 1$ .

В случае выполнения равенства в (12), имеем

$$e = \frac{4}{3(\varepsilon_0 - 1)}. \quad (13)$$

Если  $\varepsilon_0 = 1$ , то соотношение (13) теряет смысл.

С учетом формул (3) и (8), можно получить выражение для прогнозирования нагрузки от СД в зависимости от упругих свойств почвы, начальной пористости и конечной, которая соответствовала бы агротехническим требованиям

$$P = \frac{8G\pi R^2(\varepsilon_0 - \varepsilon)}{9\varepsilon(\varepsilon_0 - 1)\cos \alpha}. \quad (14)$$

Как следует из выражения (8), напряжение на наружную поверхность стенки рассматриваемой сферы зависит от пористости до деформации и после нее, а также от упругих свойств почвы, образующих толщину поверхности сферической оболочки.

При увеличении нагрузки  $P$  могут появиться пластические деформации, при которых данная несущая способность почвы уменьшится, т.е. произойдет уплотнение почвы. При заданных условиях нагружения можно записать

$$\sigma_{rr} = \sigma_{\theta\theta} = 2k^*, \quad (15)$$

где  $k^*$  – коэффициент пластичности [1, 2].

Действующее напряжение достигает предела текучести вначале на внутренней поверхности сферы при пористости  $\varepsilon_1$  [1]

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_0 G + k^*}{G + k^*}. \quad (16)$$

Граница раздела пластической и упругой областей движется к наружной поверхности с ростом нагрузки. Положим, что радиус границы раздела между упругой и пластической областями равен  $r_d$ . Тогда уравнение равновесия в пластической области имеет вид

$$\sigma_{rr,r} + \frac{4}{r}k^* = 0. \quad (17)$$

Когда  $r_D = r_n$ , то пористость определяется по формуле

$$\varepsilon_2 = \frac{G}{G + k^*} \varepsilon_0. \quad (18)$$

$$\frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} = -\frac{4k^*}{r}. \quad (19)$$

При  $k^* = const$  из выражения (19) получим

$$\sigma_{rr} = -4k^* \frac{dr}{r}. \quad (20)$$

Откуда после интегрирования на внутренней стенке имеем

$$\sigma_{rr} = -4k^* (\ln r_D - \ln r_b). \quad (21)$$

Выражение для напряжения на наружной стенке будет

$$\sigma_{rr} = -\sigma_R \frac{4Gr_{во}(\varepsilon_0 - \varepsilon)}{3(\varepsilon_0 - 1)}. \quad (22)$$

Из выражений (21) и (22) получим

$$\sigma_R = \frac{42k^*(\varepsilon_0 - 1)(\ln r_b - \ln r_D)}{4Gr_{во}(\varepsilon_0 - \varepsilon)}. \quad (23)$$

Учитывая выражения (3) и (23), получим значе- ние силы  $P$ , при которой будет потеряна несущая способность стенки поры

$$P = \frac{\pi R^2 k^* (\varepsilon_0 - 1) (\ln r_b - \ln r_D)}{Gr_{во} (\varepsilon_0 - \varepsilon) \cos \alpha}. \quad (24)$$

#### Заключение

Радиальное напряжение  $\sigma_r$ , определяемое форму- лой (23), является критическим для сохранения объема порового пространства, так как переход в пластическое состояние будет характеризоваться замыканием пор (в почвогрунтах будет происходить переупаковка твердых и жидких частиц). Из уравнения (24) можно определить критическую нагрузку на почву, при которой будет происходить замыкание пор, а следовательно, ухудшаться агрономические свойства почвы. Эта нагрузка может учитываться при прогнозировании давления на почву от сельскохозяйственной техники.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новые процессы деформации металлов и сплавов/ А.П. Колинов [и др.]; под общ. ред. А.П. Колинова. – М.: Высш. шк., 1986. – С. 351.
2. Чигарев, Ю.В. Математические основы меха- ники почв/ Ю.В. Чигарев, П.Н. Синкевич. – Мн.: УП «Технопринт», 2004. – С. 163.

УДК 621.38

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 15.06.2011

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКАМИ СВЕТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВЛИЯНИЯ МОЩНОСТИ И СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ИЗЛУЧЕНИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РОСТА ТЕПЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

**Е.В. Галушко, канд. техн. наук, доцент, В.Л. Цвирко, аспирант, О.Ч. Ролич, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ)**

#### Аннотация

*В статье обоснована структура системы автоматического управления источниками света на основе анализа влияния мощности, спектрального состава и параметров импульсного излучения на интенсивность роста тепличных культур. Выявлены оптимальные диапазоны параметров фотосинтетически активной радиации для приемлемого роста светлюбивых растений.*

*The article justifies the structure of automatic light controlling based on the analysis of the influence of power, spectral composition and parameters of pulsed radiation on the growth rate of the green house plants. The optimal parameter ranges of photo-synthetically active radiation for the acceptable growth of luciphile plants are defined.*

#### Введение

В последнее время при досвечивании тепличных и декоративных культур в процессе их выращивания в условиях полного искусственного освещения в тепли-

цах, на селекционных станциях и фитотронах всё больше внимания уделяется вопросу светокультуры растений [1].

В естественной среде в период вегетации расте- ния редко испытывают острый недостаток солнечной